



⑬ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ Offenlegungsschrift  
⑩ DE 199 13 593 A 1

⑤ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
F 04 B 49/

⑳ Aktenzeichen: 199 13 593.2  
㉔ Anmeldetag: 24. 3. 1999  
㉕ Offenlegungstag: 5. 10. 2000

⑦1 Anmelder:  
ILMVAC GmbH, 98693 Ilmenau, DE  
⑦1 Vertreter:  
Engel und Kollegen, 98527 Suhl

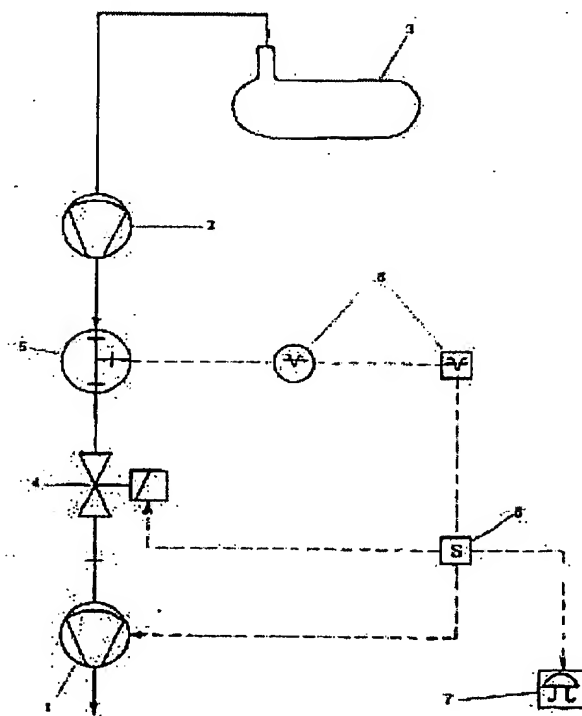
⑦2 Erfinder:  
Frenzel, Günter, 98693 Ilmenau, DE; Engman  
Hubert, 98693 Ilmenau, DE  
⑤6 Entgegenhaltungen:  
US 50 39 280

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Gestörter Pumpstand

⑤7 Die Erfindung betrifft einen Pumpstand zur Erzeugung eines Vakuums mit einer Hochvakuumpumpe (2) und einer Vorpumpe (1), die für die Hochvakuumpumpe einen bestimmten Vordruck bereitstellt. Der Pumpstand besitzt ein schaltbares Ventil (4) zwischen Hochvakuumpumpe und Vorpumpe; einen Drucksensor (5), der den am Ausgang der Hochvakuumpumpe anliegenden Vordruck bestimmt; und eine Steuereinheit (6), die basierend auf dem Vordruck die Vorpumpe einschaltet und das Ventil öffnet, wenn der Vordruck einen oberen Schwellenwert überschreitet. Außerdem gibt die Erfindung ein Verfahren zur Steuerung dieses Pumpstandes an.



DE 199 13 593 A 1

BEST AVAILABLE COPY

## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Pumpstand zur Erzeugung eines Vakuums mit einer Hochvakuumpumpe und einer Vorpumpe, die für die Hochvakuumpumpe einen niedrigen Vordruck bereitstellt. Außerdem betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Steuerung eines Pumpstandes, welches zur Erzeugung eines Hochvakuums eine Hochvakuumpumpe und eine Vorpumpe umfaßt.

In der Technik sind verschiedene Pumpenanordnungen bekannt. Sogenannte Pumpstände umfassen eine oder mehrere Pumpen und die zugehörige Steuerungstechnik. Die jeweils einzusetzende Pumpe wird unter anderem anhand der gewünschten Druckanforderungen, der Fördermenge und des zu pumpenden Mediums bestimmt.

In der Vakuumtechnik ist es bekannt, daß zur Erzeugung eines Hochvakuums (oder eines Ultrahochvakuums) in einer gegebenen Gesamtanordnung eine Hochvakuumpumpe mit einer Vorpumpe kombiniert wird. Die jeweiligen physikalisch-technischen Wirkprinzipien der Vorpumpe haben aber zur Folge, daß mit der Vorpumpe in vertretbarer Zeit nur ein Grobvakuum, ggf. ein Feinvakuum, erzeugt werden kann. Wenn dieser Zustand erreicht ist, greift die üblicherweise in Reihe mit der Vorpumpe geschaltete Hochvakuumpumpe aktiv in den Evakuierungsvorgang ein. Die bekannten Hochvakuumumpen sind in der Lage ein Hoch- bzw. Ultrahochvakuum innerhalb eines Rezipienten zu erzeugen. Für den Betrieb dieser Hochvakuumumpen ist es aber erforderlich, daß die Ausgangsseite nicht unmittelbar an den Atmosphärendruck gekoppelt ist sondern einem wesentlich geringeren Vordruck unterliegt. Dieser Vordruck wird von der Vorpumpe erzeugt.

Bei derartigen Anordnungen nach dem Stand der Technik ist es erforderlich, daß die Vorpumpe während der gesamten Betriebszeit des Pumpstandes arbeitet, um den Vordruck kontinuierlich an dem Ausgang der Hochvakuumpumpe bereitzustellen. Dies hat zur Folge, daß die Vorpumpe einen erheblichen Energiebeitrag verbraucht, obwohl nur sehr geringe Mengen des Restgases aus dem Evakuierungsvolumen abzusaugen sind. Da bei industriellen Anwendungen und in Laboraufbauten das gewünschte Vakuum häufig über einen relativ langen Zeitraum aufrecht erhalten werden soll, unterliegt bei entsprechenden Pumpständen auch die Vorpumpe hohen Anforderungen aufgrund der langen, ununterbrochenen Betriebszeiten. Es ergeben sich geringere Standzeiten für die Vorpumpe, die relativ hohe Wartungskosten zur Folge haben.

Ein weiteres Problem bei bekannten Pumpständen zur Erzeugung eines Hochvakuums besteht darin, daß bei einem fehlerbedingten Ausfall der Vorpumpe der Druck im Evakuierungsraum ansteigen kann, ohne daß rechtzeitig Maßnahmen zur Aufrechterhaltung des Vakuums eingeleitet werden können.

Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht somit darin, ein Verfahren zur Steuerung eines Pumpstandes anzugeben, durch welches die genannten Nachteile vermieden werden. Außerdem soll die Erfindung einen Pumpstand bereitstellen, der dieses Verfahren realisieren kann. Insbesondere ist es wünschenswert, die notwendige Betriebszeit der Vorpumpe zu reduzieren, um einerseits Energie einzusparen und andererseits die Lebensdauer der Vorpumpe zu erhöhen.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren gelöst, welches folgende Schritte umfaßt:

- a) Inbetriebnahme der Vorpumpe, um die Gesamtanordnung zu evakuieren und einen vorbestimmten Vordruck aufzubauen;
- b) Inbetriebnahme der Hochvakuumpumpe, um einen

vorbestimmten Enddruck aufzubauen;

c) Überwachung des Vordrucks am Ausgang der Hochvakuumpumpe mit einem Drucksensor;

d) Schließen eines Ventils, welches zwischen der Vorpumpe und der Hochvakuumpumpe angeordnet ist wenn der Vordruck einen unteren Schwellenwert unterschreitet;

e) Abschaltung der Vorpumpe, wenn das Ventil geschlossen ist;

f) Wiederinbetriebnahme der Vorpumpe, wenn der Vordruck einen oberen Schwellenwert überschreitet;

g) Öffnen des Ventils, um den Vordruck am Ausgang der Hochvakuumpumpe zu senken;

h) Rückkehr zum Schritt e) und zyklisches Fortsetzen des Verfahrens.

Das erfindungsgemäße Verfahren bietet den Vorteil, daß die Vorpumpe nach der Bereitstellung des für den Betrieb der Hochvakuumpumpe benötigten Vordrucks abgeschaltet werden kann. Nach einer Erstevakuierung der Gesamtanordnung kann bei gut abgeglichener Gesamtanlage die zur Aufrechterhaltung des Vakuums erforderliche Pumpleistung allein von der Hochvakuumpumpe bereitgestellt werden. Gerade bei Anlagen, die über längere Zeit betrieben werden kommt es dadurch zu einer deutlichen Reduzierung der erforderlichen Laufzeit der Vorpumpe und damit zur Erhöhung der Lebensdauer der Vorpumpe. Während des Betrieb wird die Vorpumpe nur dann aktiviert, wenn der am Ausgang der Hochvakuumpumpe erforderliche Vordruck einen oberen Schwellenwert überschreitet. Durch die abhängige Steuerung des zwischen der Vorpumpe und der Hochvakuumpumpe angeordneten Ventils ist außerdem ein Anstieg des Vordrucks aufgrund von Undichtigkeiten im Bereich der Vorpumpe ausgeschlossen. Durch die deutlich kürzeren Betriebszeiten der Vorpumpe wird auch die Geräuschemission der Anlage stark verringert.

Bei einer vorteilhaften Abwandlung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird das Ventil auch dann geschlossen, wenn der Vordruck einen Fehlerschwellenwert überschreitet. Dies bietet den Vorteil, daß der Hochvakuumabschnitt von dem Grob- bzw. Feinvakuumabschnitt der Gesamtanordnung abgetrennt werden kann, sobald aufgrund eines Leckes oder eines anderen Fehlers die Vorpumpe nicht mehr in der Lage ist, den nötigen Vordruck aufrechtzuerhalten. Dadurch kann zumindest über einen gewissen Zeitraum ein starker Druckanstieg im Hochvakuumabschnitt verhindert werden.

Bei einer vorteilhaften Ausführungsform des Verfahrens liegt zwischen der Wiederinbetriebnahme der Vorpumpe im Schritt f) und dem Öffnen des Ventils im Schritt g) eine vorbestimmte Zeitdauer. Diese Zeitdauer ist derart bestimmt, daß bei einer gegebenen Saugleistung der Vorpumpe das Totvolumen zwischen der Vorpumpe und dem Ventil evakuiert werden kann und in diesem Bereich der benötigte Vordruck eingestellt wird, bevor das Ventil geöffnet und damit die Verbindung zur Ausgangsseite der Hochvakuumpumpe hergestellt wird. Dadurch ist sichergestellt, daß ein sprunghafter Druckanstieg am Ausgang der Hochvakuumpumpe vermieden wird, der ggf. zu einer Betriebsstörung der Hochvakuumpumpe führen könnte bzw. einen unerwünschten Druckanstieg im Hochvakuumabschnitt hervorruft.

Zur Lösung der Aufgabe der vorliegenden Erfindung dient auch ein Pumpstand, umfassend ein schaltbares Ventil zwischen Hochvakuumpumpe und Vorpumpe; einen Drucksensor, der den am Ausgang der Hochvakuumpumpe anliegenden Vordruck bestimmt; und eine Steuereinheit, die basierend auf dem Vordruck die Vorpumpe einschaltet und das Ventil öffnet, wenn der Vordruck einen oberen Schwellenwert

wert überschreitet. Mit einem derartigen Pumpstand kann das oben beschriebene Verfahren vorteilhaft durchgeführt werden.

Eine vorteilhafte Ausführungsform des Pumpstandes zeichnet sich dadurch aus, daß das schaltbare Ventil ein elektromagnetisches Vakuumventil ist. Bei abgewandelten Ausführungsformen können auch pneumatisch oder hydraulisch betätigte Ventile zum Einsatz kommen.

Ebenso ist es zweckmäßig, wenn der Drucksensor ein kapazitiv wirkender Drucksensor ist, da dies eine einfache und zuverlässige Messung und eine ausreichend schnelle Meßwertverarbeitung durch die Steuereinheit ermöglicht.

Weitere Vorteile, Einzelheiten und Weiterbildungen ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens und des erfindungsgemäßen Pumpstandes, die unter Bezugnahme auf die Zeichnung gegeben wird. Es zeigen:

Fig. 1 ein Blockschaltbild eines erfindungsgemäßen Pumpstandes;

Fig. 2a ein Flußdiagramm, welches erste Schritte des erfindungsgemäßen Verfahrens zeigt;

Fig. 2b ein Flußdiagramm, welches weitere Schritte des erfindungsgemäßen Verfahrens zeigt;

Fig. 3 ein Flußdiagramm, welches Schritte einer Fehlerüberwachungsroutine gemäß einer abgewandelten Ausführungsform des in Fig. 2 abgebildeten Verfahrens zeigt.

Fig. 1 zeigt das Blockschaltbild eines Pumpstandes zur Erzeugung eines Hochvakuums. Der Pumpstand besteht aus einer Vorpumpe 1, bei der es sich um eine Feinvakuumpumpe handeln kann. Auf die spezielle Bauform der Vorpumpe kommt es nicht an. Vielmehr ergibt sich diese aus dem gewünschten Einsatzfall. Weiterhin umfaßt der Pumpstand eine Hochvakuumpumpe 2, die im Zusammenwirken mit der Vorpumpe 1 in einem Evakuierungsraum 3 ein Hochvakuum erzeugen soll. Im Strömungskanal zwischen der Vorpumpe 1 und der Hochvakuumpumpe 2 ist ein schaltbares Ventil 4 angeordnet, welches im geschlossenen Zustand die Verbindung zwischen Vorpumpe und Hochvakuumpumpe trennt, wobei hohe Anforderungen an die Abdichtung beispielsweise durch ein elektromagnetisches Vakuumventil erfüllt werden können. Die Hochvakuumpumpe 2 ist beispielsweise eine Turbomolekularpumpe, die zu ihrem Betrieb an der Ausgangsseite einen gegenüber der Atmosphäre verringerten Vordruck benötigt. Dieser Vordruck liegt beispielsweise im Bereich von 103 bis 1 Pa (Pascal). Der Vordruck, der sich im Strömungskanal zwischen der Hochvakuumpumpe 2 und dem Ventil 4 einstellt, wird von einem Sensor 5 gemessen. Der Sensor 5 ist beispielsweise ein kapazitiver Drucksensor. Schließlich ist in dem Pumpstand eine Steuereinheit 6 vorgesehen, die einerseits das Meßsignal vom Drucksensor 5 empfängt und andererseits Steuersignale zumindest an das Ventil 4 und die Vorpumpe 1 abgibt. Bei der dargestellten Ausführungsform wird ein weiteres Signal von der Steuereinheit 6 an eine Alarmsignalisierungseinheit 7 abgegeben. Außerdem können wie dargestellt Meßwertaufbereitungseinheiten 8 vorgesehen sein, die das vom Drucksensor 5 erzeugte Meßsignal konditionieren.

Fig. 2a und 2b zeigen einen Ablaufplan des erfindungsgemäßen Verfahrens, welches z. B. von der in Fig. 1 gezeigten Anordnung ausgeführt wird. Das Verfahren beginnt im Schritt 10 und setzt im Schritt 11 die Vorpumpe in Betrieb. Um die Gesamtanordnung zu evakuieren wird im Schritt 12 das Ventil geöffnet. Im Schritt 13 wird überprüft, ob der für die Inbetriebnahme der Hochvakuumpumpe nötige Arbeitsdruck (Vordruck) bereits erreicht ist. Mit Erreichen des Vordrucks sind die notwendigen Betriebsbedingungen für die Hochvakuumpumpe gegeben, so daß diese im Schritt 14 in Betrieb genommen wird. Auf den Zeitpunkt der ersten Inbe-

triebnahme der Hochvakuumpumpe kommt es hinsichtlich der Erfindung jedoch nicht an.

Sobald von dem Drucksensor bestimmt wird, daß der Vordruck einen unteren Schwellenwert unterschreitet (in Schritt 15), wird im Schritt 16 das Ventil geschlossen und nachfolgend im Schritt 17 die Vorpumpe abgeschaltet. Im weiteren Verlauf wird wiederum von dem Drucksensor ständig der Vordruck überprüft. Solange der Vordruck unterhalb eines oberen Schwellenwertes liegt, bleibt die Betriebsweise unverändert. Sofern jedoch im Schritt 18 festgestellt wird, daß der Vordruck den oberen Schwellenwert überschreitet, wird die Vorpumpe erneut in Betrieb genommen (Schritt 19). Die Zeitverzögerung im Schritt 20 dient der erneute Evakuierung des zwischen dem Ventil und der Vorpumpe liegenden Totvolumens.

Bei einer abgewandelten Ausführungsform könnte auch ein weiterer Drucksensor vorgesehen sein, der den in dieser Abschnitt vorhandenen Druck bestimmt, so daß die Zeitverzögerung durch eine Drucksteuerung ersetzt wird.

Sobald das Totvolumen evakuiert ist, wird im Schritt 2 das Ventil erneut geöffnet. Die Routine springt dann zum Schritt 15 zurück, in welchem der Vordruck wiederum hinsichtlich der Unterschreitung des unteren Schwellenwertes überprüft wird.

In Fig. 3 ist ein Ablaufdiagramm gezeigt, anhand dessen die Verfahrensschritte erläutert werden, die bei einer abgewandelten Ausführungsform ausgeführt werden. Die in Fig. 3 dargestellten Verfahrensschritte werden im wesentlichen parallel zu den Verfahrensschritten in Fig. 2 ausgeführt, um nach Möglichkeit zu jedem Zeitpunkt eine potentielle Fehlersituation zu erkennen und darauf angemessen zu reagieren. Diese Fehlerüberwachungsroutine startet im Schritt 30. Unter Auswertung des vom Drucksensor gelieferten Meßwerts wird im Schritt 31 überprüft, ob der Vordruck erreicht wurde, der zum Betrieb der Hochvakuumpumpe erforderlich ist. Sofern dies noch nicht der Fall ist, wurde der eigentliche Betriebszustand noch nicht eingenommen, d. h. das gewünschte Hochvakuum ist noch nicht aufgebaut. Sobald der eingestellte Vordruck erreicht wurde, geht die Fehlerbehandlungsroutine davon aus, daß sich die Gesamtanlage in normalen Betriebszustand befindet und entweder mit dem Aufbau des Hochvakuums begonnen wird oder dieses bereits erzeugt wurde. Somit kann nun im Schritt 32 geprüft werden, ob der Vordruck einen bestimmten Fehlerschwellenwert überschreitet. Ist dies nicht der Fall, so arbeitet die Gesamtanordnung normal. Sobald der Vordruck den Fehlerschwellenwert überschreitet, welcher derart eingestellt ist, daß er ausreichend oberhalb des oberen Schwellenwertes liegt, ist daraus abzuleiten, daß der Vordruck ansteigt, obwohl bei normaler Betriebsart die arbeitende Vorpumpe diesen reduzieren müßte. Eine solche Situation kann eintreten, wenn beispielsweise die Vorpumpe defekt ist oder im Bereich stromabwärts des Ventils ein Leck vorhanden ist. Um den Hochvakuumabschnitt und die Hochvakuumpumpe gegen diesen fehlerbedingten Druckanstieg zu schützen, veranlaßt die in Fig. 3 gezeigte Routine das Schließen des Ventils im Schritt 33. Der dafür von der Steuereinheit zu generierende Befehl ist so ausgelegt, daß er einen ggf. aus der in Fig. 2 gezeigten Routine resultierenden Befehl zum Öffnen des Ventils übersteuert. Auf diese Weise kann der registrierte Fehler zumindest über einen bestimmten Zeitraum durch weiteren Betrieb der Hochvakuumpumpe ausgeglichen werden, da der Druckanstieg stromabwärts des Ventils nicht auf den Hochvakuumabschnitt einwirkt. Im Schritt 34 wird zusätzlich ein Alarmsignal generiert, mit welchem beispielsweise das Betriebspersonal auf den festgestellten Fehler aufmerksam gemacht werden kann. Sobald nach einer Fehlerbehebung im Schritt 35 festgestellt wird, daß der Vor-

druck den Fehlerschwellenwert unterschreitet, kann im Schritt 36 das Ventil wieder geöffnet werden und die Fehler-routine springt zum Schritt 32 zurück, um die normale Fehlerüberwachung fortzusetzen.

Die dargestellten Verfahrensschritte lassen sich in bekannter Weise durch eine Schaltungstechnik realisieren, es kann aber auch ein Mikroprozessor eingesetzt werden, der durch ein angepaßtes Datenverarbeitungsprogramm gesteuert wird.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung eines Pumpstandes, welcher zur Erzeugung eines Hochvakuums eine Hochvakuum-pumpe und eine Vorpumpe umfaßt, gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:
  - a) Inbetriebnahme der Vorpumpe (11), um die Gesamtanordnung zu evakuieren und einen vorbestimmten Vordruck aufzubauen;
  - b) Inbetriebnahme der Hochvakuum-pumpe (14), um einen vorbestimmten Enddruck aufzubauen;
  - c) Überwachung des Vordrucks (15) am Ausgang der Hochvakuum-pumpe mit einem Drucksensor;
  - d) Schließen eines Ventils (16), welches zwischen der Vorpumpe und der Hochvakuum-pumpe angeordnet ist, wenn der Vordruck einen unteren Schwellenwert unterschreitet;
  - e) Abschaltung der Vorpumpe (17), wenn das Ventil geschlossen ist;
  - f) Wiederinbetriebnahme der Vorpumpe (19), wenn der Vordruck einen oberen Schwellenwert überschreitet;
  - g) Öffnen des Ventils (21), um den Vordruck am Ausgang der Hochvakuum-pumpe zu senken;
  - h) Rückkehr zum Schritt c) und zyklisches Fortsetzen des Verfahrens.
2. Verfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch den weiteren Schritt:  
Schließen des Ventils (33), wenn der Vordruck einen Fehlerschwellenwert überschreitet.
3. Verfahren nach Anspruch 2, gekennzeichnet durch den weiteren Schritt: Abgabe eines Alarmsignal (34), wenn der Vordruck den Fehlerschwellenwert überschreitet.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen der Wiederinbetriebnahme der Vorpumpe im Schritt f) und dem Öffnen des Ventils im Schritt g) eine vorbestimmte Zeitdauer verstreicht, um das Totvolumen zwischen Vorpumpe und Ventil vor der Öffnung des Ventils erneut zu evakuieren.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen dem oberen Schwellenwert und dem unteren Schwellenwert ein Druckunterschied von etwa  $10^2$  bis  $10^1$  Pa besteht.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Fehlerschwellenwert etwa  $10^2$  bis  $10^1$  Pa oberhalb des oberen Schwellenwerts liegt.
7. Pumpstand zur Erzeugung eines Vakuums mit einer Hochvakuum-pumpe (2) und einer Vorpumpe (1), die für die Hochvakuum-pumpe einen bestimmten Vordruck bereitstellt, gekennzeichnet durch:
  - ein schaltbares Ventil (4) zwischen Hochvakuum-pumpe und Vorpumpe;
  - einen Drucksensor (5), der den am Ausgang der Hochvakuum-pumpe anliegenden Vordruck bestimmt; und
  - eine Steuereinheit (6), die basierend auf dem

Vordruck die Vorpumpe einschaltet und das Ventil öffnet, wenn der Vordruck einen oberen Schwellenwert überschreitet.

8. Pumpstand nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuereinheit (6) das Ventil (4) schließt, wenn vom Drucksensor ein Vordruck oberhalb eines Fehlerschwellenwerts bestimmt wird.

9. Pumpstand nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß das schaltbare Ventil ein elektromagnetische Vakuumventil ist.

10. Pumpstand nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Drucksensor ein kapazitiv wirkender Drucksensor ist.

11. Pumpstand nach einem der Ansprüche 7 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Hochvakuum-pumpe eine Turbomolekularpumpe ohne oder mit Grobvakuumstufe ist und die Vorpumpe entsprechend eine Fein- bzw. Grobvakuum-pumpe ist.

12. Pumpstand nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der von der Feinvakuum-pumpe bereitgestellte Vordruck im Bereich von  $10^3$  bis 1 Pa liegt.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

Fig. 1

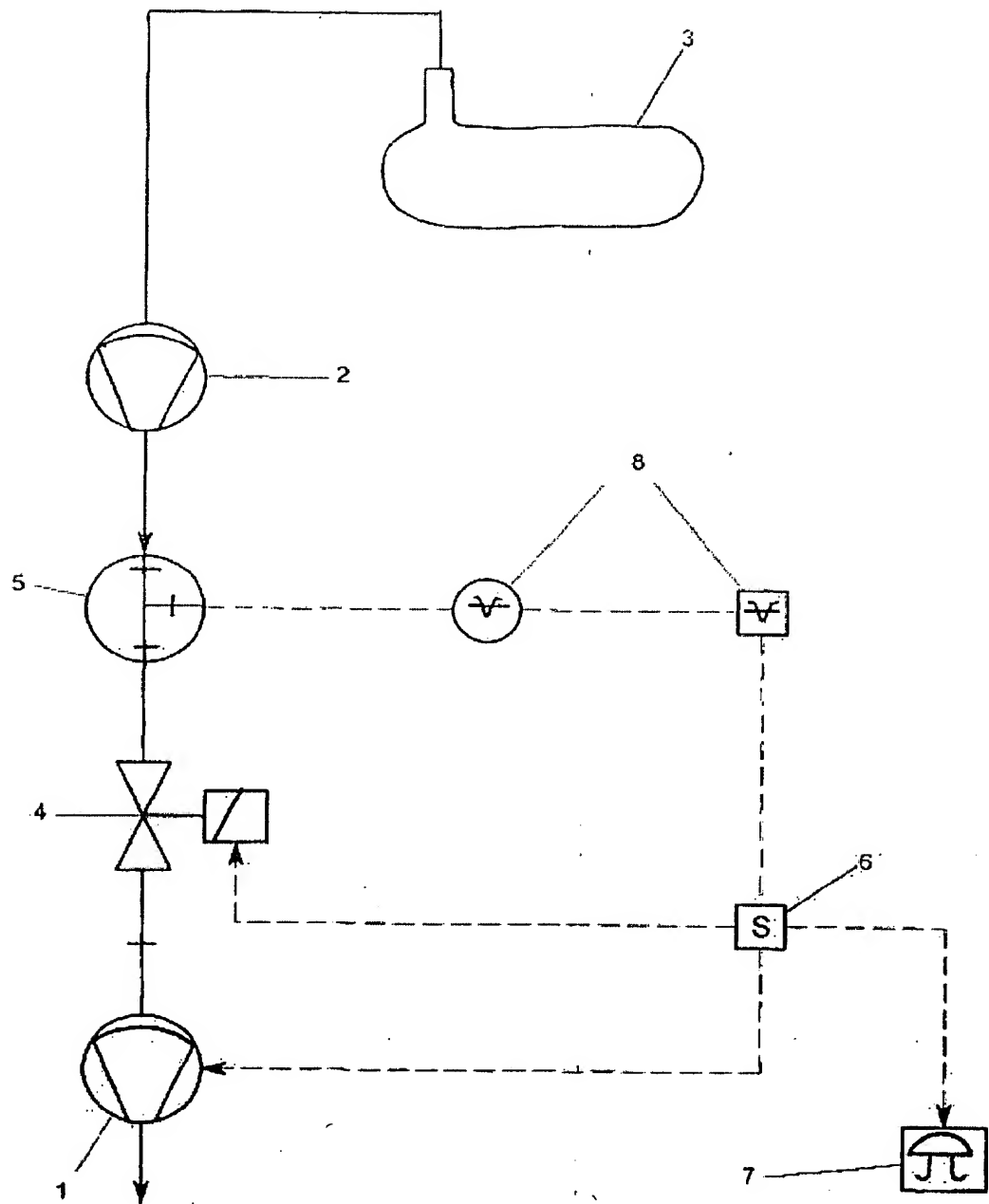


Fig. 2 a

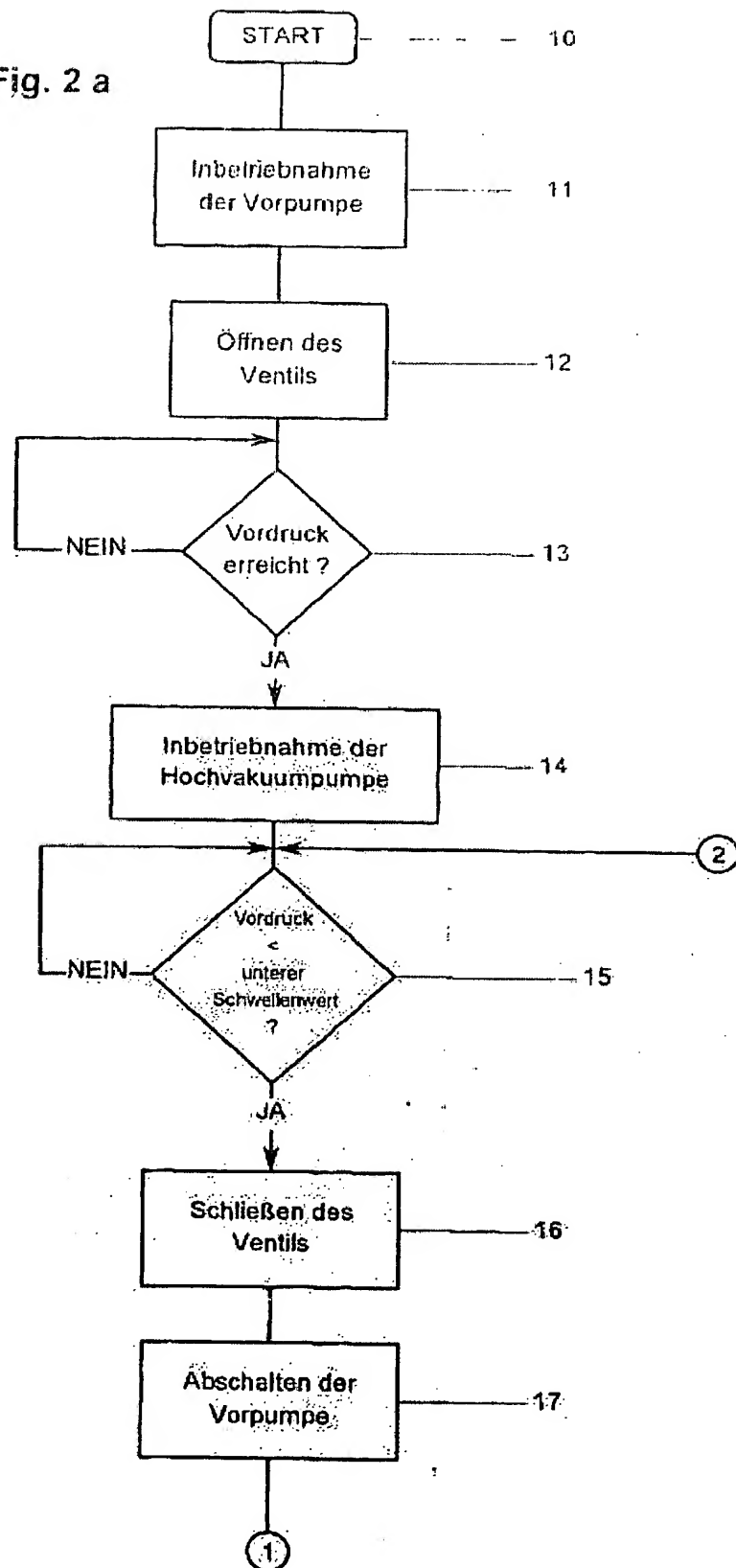


Fig. 2 b

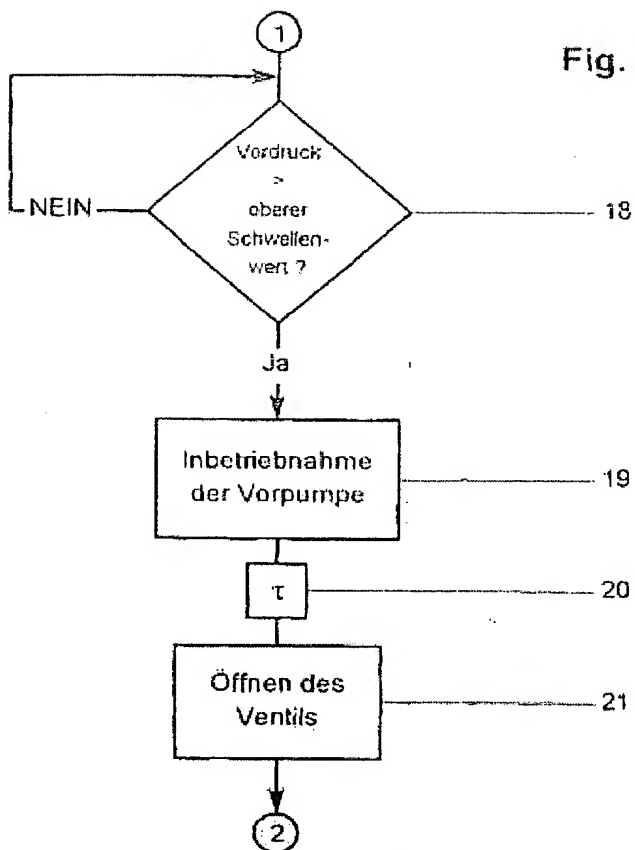


Fig. 3

